

Предложена модернизации системы защиты воздушных и кабельных линий Городских электрических сетей 0,4 кВ за счет применения новых защит, реализуемых с помощью микропроцессорных расцепителей выключателей. Рассмотрены основные технические и технологические особенности функционирования микропроцессорных расцепителей при реализации новых защит.

УДК 621.316

А.Г. Сосков, докт. техн. наук
Харьковская национальная академия городского хозяйства

А.С. Кобозев, канд. техн. наук,
ЗАО ЄНАС

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ 0,4 кВ ЗА СЧЕТ СПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ В РАСЦЕПИТЕЛЯХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

1. Состояние вопроса по защитах сетей Облэнерго.

В настоящее время в системе защиты Городских электрических сетей (ГС) широко используются автоматические выключатели с аналоговыми электронными расцепителями, в которых существует достаточно ограниченный перечень защит – как, правило, это защита от токов перегрузки и токов короткого замыкания (КЗ).

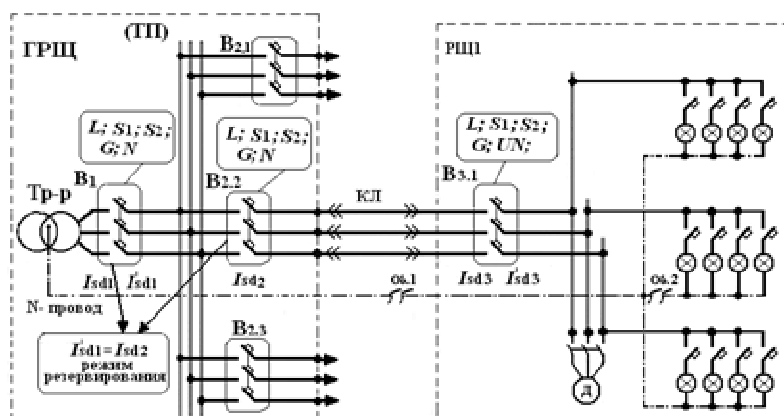
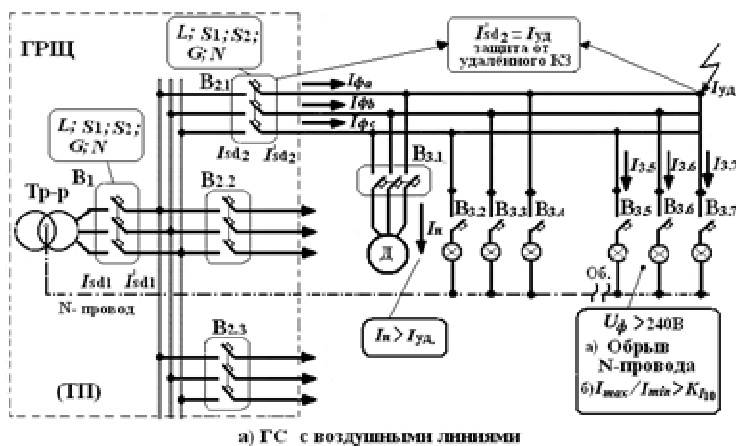


Рис.1

Как будет показано ниже, ни существующих защит, ни их качество не позволяет решить существующие и вновь возникающие проблемы с защитой ГС. Для лучшего понимания сути указанных проблем защиты, целесообразно рассматривать их для двух наиболее типичных схем электроснабжения потребителей, характерных для ГС (см. рис. 1).

На рис.1а приведена схема ГС с длинными воздушными линиями и подключенными к

ним по всей их длине потребителями. Такой тип ГС характерен для питания домов частного сектора и коттеджных поселков.

На главном распределительном щите (ГРЩ) трансформаторной подстанции установлен вводной выключатель B_1 к отводящим зажимам которого подключены 3 фидерных выключателя - $B_{2.1}$, $B_{2.2}$ и $B_{2.3}$. Каждый фидерный выключатель защищает свою длинную воздушную линию, к которой подключены различного вида потребители, в частности, к линии, защищаемой выключателем $B_{2.1}$, подключены потребители, защищаемые выключателями ($B_{3.1} \div B_{3.7}$).

Схема ГС с кабельными линиями и подключенной в конце их сосредоточенной нагрузкой в виде жилых многоэтажных домов, приведена на рис.1б. Как и в предыдущем случае, к отводящим зажимам вводного выключателя B_1 подключены 3 фидерных выключателя $B_{2.1}$, $B_{2.2}$ и $B_{2.3}$. Но в данном случае, к каждому из фидерных выключателей подключены кабельные линии, питающие многоквартирные жилые дома. Так, к фидерной линии, защищаемой выключателем $B_{2.2}$ подключена кабельная линия, к концу которой подключен распределительный щит многоквартирного жилого дома.

Для ГС с воздушными линиями одной из острых проблем является защита от токов удаленных КЗ, т.е. в конце длинной линии. Суть проблемы заключается в том, что значение тока КЗ, в случае возникновения аварийной ситуации в конце длинной линии (на рис.1а – в месте подключения к линии фидера, защищаемого выключателем $B_{3.7}$) значение тока удаленного КЗ ($I_{уд}$) может быть меньше величины пускового тока электродвигателя (I_n), подключенного в начале линии выключателем $B_{3.1}$, а также меньше величины тока перегрузки, создаваемого всеми подключенными к данной линии потребителями.

Для реализации защиты от удаленного КЗ необходимо, чтобы в критерий срабатывания, кроме величины тока, входил ещё один параметр цепи, позволяющий идентифицировать именно ток КЗ. Только в этом случае, алгоритм работы защиты может быть реализован таким образом, что в случае удаленного КЗ защита будет срабатывать при меньшей по величине токовой уставке, а при пусковых токах величина токовой уставки будет увеличиваться до значения, необходимого для нормального запуска электродвигателя.

Аналогичную задачу избирательного повышения чувствительности к токам КЗ необходимо решить и для системы защиты ГС с кабельными линиями, хотя главной проблемой для таких сетей является не защита от удаленных КЗ, а проблема надежности защиты кабельных линий от токов КЗ. Действительно, ведь в случае отказа защиты последствия от термического воздействия тока на кабельные линии очень значительны (кабель повреждается по всей его длине до места КЗ, замена кабеля в условиях насыщенной инфраструктуры города очень трудоемкая и дорогая процедура). В то же время, существующие показатели вероятности безотказной работы выключателей при выполнении своих защитных функций ($P = 0,95 \div 0,97$) не отвечают требованиям высокой надежности защиты. Поэтому важным направлением повышения показателя безотказности защиты является переход к защите участков электрических сетей не одним, а системой из двух аппаратов защиты, в которой вышестоящий аппарат резервирует нижестоящий аппарат в случае отказа последнего. Для рассматриваемого случая (см. рис.1б) это означает, что токовая уставка зоны КЗ вводного выключателя $B_1(I_{sd1})$ должна быть равна соответствующей уставке нижестоящего фидерного выключателя B_1 ($I_{sd1} = I_{sd2}$). При использовании

существующих выключателей только с одной токовой уставки зоны КЗ, которая зависит от величины рабочего тока выключателя I_r , указанное условие равенства токовых уставок, в большинстве случаев, обеспечить невозможно. Поэтому расцепитель выключателя B_1 как и в случае с защитой от удалённых КЗ, должен иметь чувствительность к току КЗ в аварийном фидере большую, чем к пусковым токам и токам перегрузкам соседних фидеров.

Для реализации режима резервирования, кроме проблемы избирательности защиты к токам КЗ и пусковым токам, необходимо решить и проблему быстрогодействия селективной защиты. Ведь надёжное резервирование отказа нижестоящего аппарата вышестоящим возможно только в случае, если у вышестоящего выключателя будет не только одинаковая с нижестоящим чувствительность к токам КЗ, но и соизмеримое время срабатывания.

Следует отметить, что применяемая в настоящее время «ступенчато-временная» селективность, при которой, чем ближе к источнику расположен выключатель, тем больше не только ожидаемый ток КЗ, но и больше принудительная выдержка времени, формирует не корректную, с технической точки зрения, прямозависимую времятоковую характеристику системы защиты. Более совершенной была бы защитная характеристика, когда при переходе на более высокую ступень защиты время срабатывания уменьшалось или, по крайней мере, не увеличивалось.

Таким образом, проблема быстрогодействия токовой защиты, причем с сохранением селективности работы, необходима как для реализации режима резервирования, так и для формирования более совершенной времятоковой характеристики защиты. Кроме того, как это будет показано ниже, быстрогодействие защиты необходимо и для «отстройки» от токов перегрузки, без чего невозможно надёжное повышение чувствительности к токам удалённых КЗ.

Кроме проблем повышения чувствительности и надёжности, для ГС, в последнее время, стала актуальной и проблема обеспечения качества поставляемой электроэнергии, в частности, исключение случаев превышения напряжения допустимых пределов по вине поставщиков электроэнергии. Это связано с появлением у потребителей очень дорогой бытовой техники (домашние кинотеатры и др.) и участвовавшими случаями предъявления претензий потребителей к ГС относительно возмещения потерь за выход из строя бытовой техники.

Основной причиной появления чрезмерных отклонений величины напряжения от номинального (220В) является обрыв нулевого провода (N -провода) при значительной несимметрии нагрузок в фазах. Обрыв N -провода может произойти как в конце питающей линии (от источника до первого потребителя), так и по всей длине указанной питающей линии.

Так, для питающих сетей с кабельными линиями (см. рис1б), когда к линии подключена сосредоточенная нагрузка, обрыв N -провода возможен только до первого потребителя. Поэтому в данном случае защита от возможных перенапряжений у однофазных потребителей должна реагировать как на факт отсутствия тока в N -проводе, так и на величину несимметрии токов в фазах линии.

Более сложной является проблема защиты от перенапряжений в сетях с воздушными линиями (см. рис. 1а) для случая, когда обрыв N -провода произошёл не в начале длинной линии, перед первым потребителем, а в середине. Например, как это показано на рисунке 1а, обрыв произошёл перед фидером, защищаемым выключателем $B_{3.5}$. В этом случае ток в N -проводе продолжает протекать и задача заключается в определении как самого факта обрыва N -провода, так и несимметрии токов в аварийной части цепи (на рис.1а – это токов $I_{3.5}$, $I_{3.6}$ и $I_{3.7}$). Это значит, что, в

конечном счете, по мгновенным значениям токов, протекающих через полюса выключателя $B_{2.2}$, необходимо определить как сам факт повреждения N -провода, так и напряжение у потребителей в аварийной части цепи.

С учетом вышеизложенного, можно констатировать, что существующие системы защиты сетей ГС 0,4 кВ, уже не отвечают современным требованиям ни по количеству, ни по качеству реализуемых ими защит и поэтому требуют модернизации. Такая модернизация возможна только при использовании широких возможностей микропроцессорной техники для математического анализа переходных процессов в электрических сетях.

Ниже будут рассмотрены основные технические решения, реализованные при создании целого ряда новых защит, использование которых позволит решить существующие проблемы с защитой сетей ГС напряжением 0,4 кВ.

2. Новые защиты и технические решения, использованные при их разработке

Основным техническим решением, положенным в основу разработки новых защит, как было указано выше, является использование в качестве критерия срабатывания защит не одного параметра цепи, как в существующих защитах (как правило, это величина тока в фазе I_ϕ), а нескольких параметров цепи. Использование таких комплексных критериев срабатывания позволяет достаточно быстро и точно идентифицировать вид тока возмущения электрической цепи (ток перегрузки, ток КЗ, пусковой ток электродвигателя или обрыв N -провода), а значит, и правильно построить алгоритм работы той или иной защиты.

Для формирования комплексных критериев срабатывания найдены математические взаимосвязи интересующих параметров защищаемой цепи с мгновенными значениями фазных токов.

2.1. Защита от удалённых КЗ или «резервирования» (защита S_1)

При построении защиты от удалённых КЗ или защиты «резервирования» (защиты S_1) в качестве критерия срабатывания использован комплексный критерий, включающих в себя три следующих параметра цепи – значение тока возмущения цепи в фазах $\Delta I_{\phi(a,b,c)}$, величина коэффициента мощности цепи $\cos\varphi$ и вид тока возмущения (2-х или 3-х фазный).

Под током возмущения цепи ΔI_ϕ понимается приращение симметричной составляющей тока в фазе при возникновении той или иной аварийной ситуации сети $\Delta I_\phi = I_\phi - I_n$, где I_n – ток предыстории, т.е. до возникновения аварийной ситуации. Важным техническим решением при построении защит от удалённых КЗ и «резервирования» является использование так называемой **силовой функции** цепи для быстрого определения основных параметров этой цепи.

Силовая функция представляет собой зависимость суммы квадратов мгновенных значений токов всех фаз во времени, которая, применительно к токам возмущения $\Delta i_{j(a,b,c)}$, может быть представлена следующим выражением:

$$s(t) = \sum_0^t (\Delta i_{ja}^2 + \Delta i_{jb}^2 + \Delta i_{jc}^2) \Delta t, \quad (1)$$

где Δi_j – текущее мгновенное значение тока возмущения в фазе ($j = 0 \div t$).

Аналитическое выражение силовой функции, согласно (2) имеет следующий вид:

$$S(t) = 3 \cdot I_\phi^2 \cdot \{1 - 2 \cdot e^{-t/\tau} \cdot \cos(\omega \cdot t) + e^{-2t/\tau}\}, \quad (2)$$

где: I_ϕ - действующее значение периодической составляющей тока в фазе;
 τ – электромагнитная постоянная времени цепи ($\tau = \arctg \phi$).

Важной особенностью силовой функции, является тот факт, что её характер, не зависит от случайного параметра - момента возникновения тока возмущения, который принято характеризовать начальной фазой Э.Д.С. в фазе – значением угла ψ .

В то же время по значениям силовой функции можно быстро (в первый период существования тока возмущения) и вполне надёжно определить как симметричную составляющую тока возмущения в фазе ΔI_ϕ , так и значение $\cos \phi$. А так как известно, что при пуске электродвигателя $\cos \phi$ имеет значения $0,2 \div 0,3$, а при удалённом КЗ - $0,6 \div 0,7$, то по значениям «силовой» функции, согласно [1], можно быстро распознать вид тока возмущения, а значит и правильно выстроить алгоритм работы защиты.

Алгоритм защиты от токов КЗ построен таким образом, что при пуске электродвигателей токовая уставка на время пуска автоматически увеличивается, а на токи перегрузки защита не реагирует. Последнее объясняется тем, что одним из параметров комплексного критерия срабатывания защиты служит не полный ток в фазе I_ϕ , являющийся суммой токов всех подключенных к линии потребителей, а только величина приращения тока ΔI_ϕ , т.е. тока возмущения цепи. При этом, благодаря использованию способа быстрого, менее 20мс, определения величины симметричной составляющей тока возмущения ΔI_ϕ , время мониторинга тока возмущения составляет всего один период изменения тока $T=20\text{мс}$, после чего его значения «обнуляются». Вероятность того, что в такой короткий промежуток времени к линии подключится достаточно большое число потребителей, (только в этом случае величина тока возмущения ΔI_ϕ может достигнуть значения рабочего тока I_r), крайне мала.

Именно за счет «отстройки» от токов перегрузки и пусковых токов обеспечивается высокая чувствительность защиты к токам удалённых КЗ и реализуется режим резервирования.

2.2 Интегральная быстродействующая селективная защита (защита S_2)

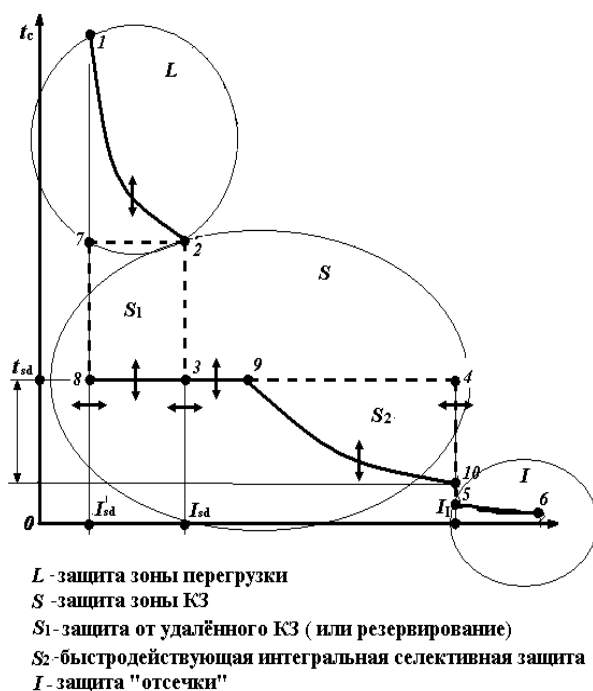


Рис. 2

Технической сутью быстродействующей интегральной селективной защиты является одновременное использование двух способов формирования времени срабатывания защиты. Дополнительно к фиксированной выдержке времени срабатывания, характерной для «ступенчато-временной» селективности, добавлено формирование времени срабатывания защиты от интегральной уставки Q_{sd} , значение которой выбирается исходя из интеграла отключения нижестоящего аппарата. Благодаря такому решению защитная времятоковая характеристика защиты становится оптимальной – при больших токах КЗ время срабатывания

защиты получается малым по величине.

На рис.2 приведена диаграмма, иллюстрирующая, за счет чего времятоковая характеристика новой токовой защиты становится более совершенной, по сравнению с аналогичной характеристикой существующей защиты.

Сравнение времятоковых характеристик новой и существующей токовых защит показывает, что между ними имеются значительные отличия.

Новая характеристика по оси абсцисс имеет два параметра – фазный ток I_ϕ и ток возмущения цепи ΔI_ϕ . В зоне перегрузки выключатель реагирует на полный фазный ток I_ϕ , а в зоне КЗ – на его приращение, т.е. на ток возмущения цепи ΔI_ϕ . Помимо токовой уставки I_{sd} , выбираемой по условиям пуска электродвигателя, введена вторая уставка I'_{sd} , меньшая по величине (обеспечивающая более высокую чувствительность к токам КЗ). Если при существующей защите переход от зоны перегрузки к зоне КЗ происходит всегда по одной линии 2-3, то для новой защиты указанный переход, в зависимости от причины возмущения цепи, может происходить или по линии 2-3 (уставка I_{sd}), или по ломаной линии 2-7-8 (уставка I'_{sd}). Срабатывание защиты может происходить в момент, определяемый как обычной временной уставкой t_{sd} , так и «интегральной» уставкой Q_{sd} , поэтому время срабатывания при больших токах КЗ существенно снижается. Это и позволяет сделать новую защиту быстродействующей и высокочувствительной к токам КЗ.

2.3. Высокочувствительная защита от токов КЗ на N-провод (защита G);

Защита реагирует на токи возмущения цепи и определяемый на их основе ток возмущения в N-проводе - ΔI_N . Вследствие того, что контроль тока возмущения, при скользящем его мониторинге, осуществляется в короткий промежуток времени, имеется возможность «отстройки» от токов в N-проводе, обусловленных несимметрией токов нагрузки. Благодаря этому, чувствительность к токам КЗ на N-провод (или на землю) обеспечивается очень высокой – минимальная токовая уставка защиты G составляет $(0,3 \div 0,5)$ величины рабочего тока аппарата - $I_g = (0,3 \div 0,5) I_r$. Тем самым обеспечивается не только надёжная защита электрооборудования, но и защита персонала от косвенного прикосновения к токоведущим частям электроустановки.

2.4. Защита от повреждения (обрыва) N-провода

В сетях Облэнерго, в которых применяется система заземления типа TN-C, обрыв N-провода приводит к нарушению защиты обслуживающего персонала от косвенного прикосновения к токоведущим частям электроустановки, т.к. в этом случае не работает защита на землю (защита G).

Защита от обрыва N-провода (защита N) построена таким образом, что она фиксирует обрыв N-провода на линии только до места первого подключения к этой линии потребителя, например, для схемы, представленной на рис.3 - это точка об.1.

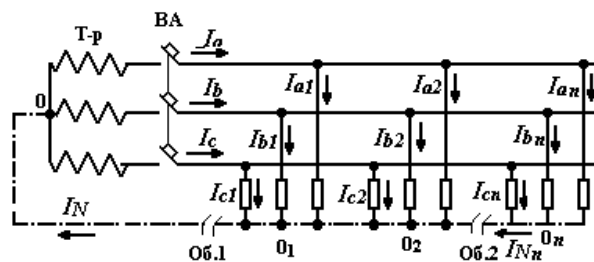


Рис. 3

Это означает, что критерием аварийной ситуации, обуславливающим срабатывания данной защиты, является полное отсутствие тока в N-проводе при условии наличия несимметрии фазных токов. Факт возникновения аварийной ситуации фиксируется путём сравнения ожидаемого значения тока в N-проводе I'_N и фактически

протекающего в нём тока I_N . Под ожидаемым током I'_N понимается такое значение тока, которое должно быть при неповреждённом N -проводе. Величина ожидаемого тока I'_N определяется как сумма фазных токов в электрической системе с неповреждённым N -проводом. При отсутствии повреждения N -провода углы между векторами токов в фазах, составляют, фактически, 120° даже при наличии несимметрии фазных токов, поэтому значение тока I'_N по известным величинам фазных токов $I_{\phi(a,b,c)}$ всегда можно определить. Алгоритм защиты N построен таким образом, что если значение ожидаемого тока I'_N не равно нулю, а фактическое значение тока I_N равно нулю, защита N срабатывает.

2.5. Защита однофазных потребителей от перенапряжений при обрыве нулевого провода и несимметрии фазных нагрузок (защита UN);

Чрезмерные отклонения величины напряжения от номинального значения (220В) могут возникать у однофазных потребителей в случае обрыва нулевого провода (N -провода) и несимметричной нагрузке фаз. Значение указанных перенапряжений зависит от величины несимметрии, которая может быть охарактеризована соотношением максимального и минимального значения токов в фазах I_{\max} и I_{\min} – коэффициентом несимметрии $K_I = I_{\max} / I_{\min}$.

Чтобы на основании анализа значений фазных токов иметь возможность оценки величин перенапряжений, используя соответствующие компьютерные программы моделирования переходных процессов в четырехпроводной линии при обрыве N - провода, предварительно были найдены такие значения коэффициента несимметрии $K_I = I_{\max} / I_{\min}$, при котором напряжение у однофазного потребителя будет больше допустимых 10% от номинального 220В. В алгоритме эти значения коэффициента используются в качестве исходных данных при определении величины перенапряжения для конкретного значения несимметрии токов.

Определение конкретного значения несимметрии токов в аварийной части цепи производится в реальном масштабе времени самим микропроцессором по соответствующему алгоритму. Алгоритмом предусмотрено фиксирование факта возникновения аварийной ситуации, как и при реализации защиты N , путём сравнения ожидаемого значения тока в нулевом проводнике I'_N и фактически протекающего в нём тока I_N . После этого, путём анализа величины и характера изменения токов в фазах и в N -проводе, определяется величина несимметрии токов в аварийной части цепи.

Величина изменения тока в N -проводнике ΔI_N определяется как разность значений тока до и после обрыва - $\Delta I_N = I'_N - I_N$ и представляет собой ту долю тока в N -проводнике I_{Nn} , которую обеспечивал поврежденный участок n -ной группы нагрузки до обрыва (см. рис 3). Поэтому можно записать следующее уравнение для приращения тока в нулевом проводнике, в которое входят искомые значения токов в фазах аварийного участка цепи.

$$\Delta I_N = I'_{Nn} = (\dot{I}_{an} + \dot{I}_{bn} + \dot{I}_{cn}), \quad (3)$$

где: $\dot{I}_{an}, \dot{I}_{bn}$ и \dot{I}_{cn} - фазные токи n -ной группой потребителей, существовавшие до момента обрыва нулевого провода.

Второе уравнение, в котором также имеются искомые значения токов в аварийной части цепи, может быть составлено для процесса изменения токов в фазах.

После обрыва нулевого проводника в n-ной, аварийной группе потребителей (см. рис. 3), ток в нулевом проводнике \dot{I}_{Nn} будет равен нулю ($\dot{I}_{Nn}=0$), при этом значения фазных токов изменятся таким образом, чтобы скомпенсировать исчезновения тока в нулевом проводнике. Для этого случая можно записать следующее уравнение для фазных токов повреждённого участка цепи:

$$(\dot{I}_{an} + \Delta \dot{I}_a) + (\dot{I}_{bn} + \Delta \dot{I}_b) + (\dot{I}_{cn} + \Delta \dot{I}_c) = 0, \quad (4)$$

где: $\Delta \dot{I}_a$, $\Delta \dot{I}_b$ и $\Delta \dot{I}_c$ - приращения фазных токов после обрыва нулевого проводника.

Так как из двух уравнений определить 3 неизвестные величины \dot{I}_{an} , \dot{I}_{bn} и \dot{I}_{cn} не представляется возможным, алгоритмом предусмотрена трансформации несимметричной 3-х фазной системы токов в одну из двух, частично несимметричных систем, в которых на соотношения минимального и максимального значений фазных токов остается без изменения, но значения токов в двух фазах принимаются одинаковыми и равными или минимальному $I_{\min n}$ или максимальному $I_{\max n}$ значению.

При указанном допущении можно от векторных величин перейти к их модулям. В результате этого уравнения (3) и (4) преобразуются, соответственно в следующие:

$$\Delta I_N = I_{an} - I_{bn}, \quad (5)$$

$$(I_{an} - \Delta I_a) - 2(I_{bn} + \Delta I_b) \cos \alpha = 0 \quad (6)$$

Значение угла α определяется, с помощью соответствующего алгоритма, путем анализа времен перехода через 0 значений тока возмущений в фазах, т.е. за счет анализа характера зависимостей $\Delta i_{(a,b,c)} = f(t)$.

Из решения системы уравнений определяются значения токов в аварийной части цепи I_{an} , I_{bn} и I_{cn} .

Срабатывание защиты UN происходит при наличии факта обрыва N -провода в любом месте длинной линии и при превышении значения коэффициента несимметрии токов в аварийной части сети заданного значения K_{N10} . Чтобы минимизировать погрешность определения допустимой несимметрии токов, обусловленную применением метода трансформации трехфазной несимметрии в двухфазную, значение коэффициента K_{N10} представлено в виде зависимости его значения от фактической величины тока в фазе со средним значением тока.

3. Модернизация системы защит электрических сетей Облэнерго за счет использованию выключателей с новыми защитными характеристиками.

Проблемы с системой защиты электрических сетей Облэнерго с воздушными линиями и распределенной нагрузкой (см. рис.1а) и сетей с кабельными линиями и со сосредоточенной нагрузкой (см. рис.1б) не во всем совпадают. Поэтому предложения по модернизации систем защиты сетей с воздушными и кабельными линиями целесообразно рассматривать отдельно.

3.1. Сети с воздушными линиями.

Проблема защиты длинных линий от удалённых КЗ в модернизированной системе защиты обеспечивается тем, что в выключателе, защищающего длинную линию, помимо обычной уставки I_{sd} , которая выбирается из условия нормального запуска подключённых к линии электродвигателей, дополнительно устанавливается

меньшая по величине уставка I'_{sd} . Значения указанных токовых уставок по отношению к рабочему току I_r составляет $I_{sd}=(3\div 10)I_r$, а $I'_{sd}=(1\div 3)I_r$.

Применительно к схеме, приведенной на рис.1а, в выключателе $B_{2,2}$, защищающем длинную линию, токовая уставка I_{sd2} выбрана из расчета обеспечения нормального запуска электродвигателя, защищаемого выключателем $B_{3,4}$, а уставка I'_{sd2} выбрана равной величине тока удаленного КЗ (тока I_{y0}). Алгоритм работы расцепителя выключателя $B_{2,2}$ построен таким образом, что он не реагирует на токи перегрузки, создаваемые всеми подключенными к линии потребителями, даже если значение тока перегрузки больше уставки I'_{sd2} . А при пуске электродвигателя, когда значение пускового тока I_n оказывается больше тока удаленного КЗ (I_{y0}), токовая уставка автоматически, на время пуска, увеличивается от величины I'_{sd2} до значения I_{sd2} . Благодаря этому, чувствительность защиты к токам КЗ существенно, в несколько раз, повышается и поэтому выключатель $B_{2,2}$, установленный в начале длинной линии, способен успешно защитить эту линию при возникновении небольших по величине токов КЗ в её конце.

Другой проблемой для рассматриваемых сетей является возможность перенапряжения у однофазных потребителей при обрыве N -провода и чрезмерной несимметрии токов в аварийной части цепи – например, как это показано на рис.2, при обрыве N -провода перед удаленной группой потребителей (защищаемых выключателями $B_{3,5}$, $B_{3,6}$ и $B_{3,7}$).

В модернизированной сети эта проблема решается тем, что в выключателе $B_{2,2}$ применена защита UN , которая реагирует на обрыв N -провода в любом месте длинной линии. Алгоритм функционирования этой защиты построен таким образом, что после фиксации обрыва N -провода определяется значение коэффициента несимметрии токов в аварийной части сети ($K_{In}=I_{\max n}/I_{\min n}$). Срабатывание защиты происходит при фиксации самого факта обрыва N -провода и превышения величины коэффициента несимметрии токов в аварийной части сети K_{In} заданного значения K_{I10} . Таким образом реализуется защита однофазных потребителей от возникновения перенапряжений, а значит, обеспечивается должное качество поставляемой потребителям электроэнергии.

Следует отметить, что наличие защиты UN является весомым юридическим обоснованием для отклонения каких либо претензий к поставщикам электроэнергии со стороны потребителей в случае выхода из строя дорогой бытовой электрической техники по вине поставщиков электроэнергии.

Кроме рассмотренных защит от удаленных КЗ ($S1$) и перенапряжений (UN) в питающей сети должны быть установлены также следующие защиты:

В выключателях B_1 и $B_{2,2}$ должны быть защиты от перегрузки (L), интегральная селективная защита ($S2$) и защита от КЗ на землю (G). В аппарате B_1 должна быть установлена также защита от обрыва N -провода. Совокупность защит G и N обеспечивает надёжную защиту обслуживающего персонала от поражения током в случае косвенного прикосновения к токоведущим частям сети.

3.2. Сети с кабельными линиями

Для сетей с кабельными линиями наиболее острой является проблема надёжности защиты от токов КЗ. Как указывалось ранее, в случае отказа защиты последствия от термического воздействия тока на кабельные линии очень

значительны. Поэтому для данных сетей важным является реализация режима резервирования возможного отказа фидерного выключателя, защищающего длинную линию, вводным выключателем.

Применительно к приведенной на рис.1б схеме, режим резервирования возможного отказа выключателя $B_{2.2}$ обеспечивается согласованием токовой уставки «резервирования» I'_{sd1} вводного выключателя питающей сети B_1 с уставкой I_{sd2} фидерного выключателя распределительной цепи $B_{2.2}$ ($I'_{sd1} = I_{sd2}$).

Благодаря реализации защиты «резервирования» показатель вероятности отказа защиты, как это следует из теории вероятности [3], снижается в 20 раз, т.е. надежность защиты кабельных линий существенно увеличивается. Это дает возможность при модернизации системы защиты ГС производить замену предохранителей на выключатели без снижения надежности защиты, но при этом появляется возможность дополнительно реализовать целый ряд новых защит.

Кроме рассмотренных защит от удалённых КЗ ($S1$) и перенапряжений (UN) в питающей сети (от трансформаторной подстанции до РЩ жилого дома) должны быть установлены следующие защиты.

В выключателях B_1 и $B_{2.2}$ должны быть защиты от перегрузки (L), интегральная селективная защита ($S2$) и защита от КЗ на землю (G). В аппарате B_1 должна быть установлена также защита от обрыва N -провода, которая, в отличие от защиты UN , срабатывает только в случае повреждения N -провода в начале линии, т.е. когда место обрыва N -провода находится до подключения к линии первого потребителя. Для рассматриваемого случая совокупность защит G и N обеспечивает надёжную защиту обслуживающего персонала ГС от поражения током в случае косвенного прикосновения к токоведущим частям сети.

Для гармонизации защит питающих и распределительных сетей (в жилом доме), в последних вводной выключатель (на приведенной на рис.1 схеме – это $B_{3.1}$) должен иметь такие же защиты, как и в фидерном выключателе распределительной сети (на рис.1 – это $B_{2.2}$), но с меньшим временем срабатывания. Следует также отметить, что наличие в выключателе $B_{3.1}$ защиты UN не исключает применение непосредственно у самих однофазных потребителей защиту от перенапряжения, реагирующую непосредственно на величину однофазного напряжения.

Новые защиты при модернизации ГС с кабельными линиями выполняют те же функции, что и для сетей с воздушными линиями – снижают время протекания предельных токов КЗ и тем самым повышают показатель пожаробезопасности электроустановки (быстродействующая селективная защита $S2$), снижают вероятность поражения током (совокупность защит G и N) и обеспечивают высокое качество поставляемой электроэнергии (защита UN).

4. Резюме

1. Проведен анализ существующих проблем в системе защиты Городских электрических сетей 0,4 кВ, который показал необходимость её модернизации в части повышения чувствительности, быстродействия и надёжности токовой защиты, расширения функций защиты, в том числе и от перенапряжения у однофазных потребителей. Для решения существующих проблем защиты требуется разработка целого ряда новых защит.

2. Показано, что для создания новых, более совершенных защит требуются и новые технические решения, а именно:

- переход от использования простых критериев срабатывания (в существующих аппаратах защиты - это величина тока) к применению более сложных, комплексных критериев, включающих в себе совокупность значений нескольких параметров цепи, позволяющих идентифицировать тип возмущения цепи (КЗ, пуск электродвигателя, обрыв N-провода и др.);

- нахождение таких аналитических и других взаимосвязей между параметрами цепи (коэффициент мощности, перенапряжение у однофазных потребителей и т.д.) и мгновенными значениями фазных токов, с целью использования найденных зависимостей как исходных данных в алгоритме работы микропроцессорных расцепителей.

- применение цифровой технологии при обработке аналоговых сигналов от датчиков тока и для анализа, в реальном масштабе времени, переходных процессов в электрических сетях при разных видах возмущения защищаемой цепи;

3. Приведены технические решения, положенные в основу разработки новых защит, использование которых позволяет существенно повысить качество защиты – увеличить чувствительность, быстродействие и надёжность токовой защиты, обеспечить защиту однофазных потребителей от перенапряжений и др.

4. С учетом того, что аналогичных, актуальных для отечественных Городских сетей 0,4 кВ, защит нет в расцепителях аппаратов зарубежных фирм, а проблема модернизации устаревших систем защит отечественных электрических сетей с каждым годом становится все острее, внедрение предлагаемых микропроцессорных расцепителей с новыми защитами следует считать вполне инвестиционно-привлекательным проектом.

Список литературы

1 «Система захисту розгалужених трифазних електричних кіл від струмів віддалених коротких замикань», Патент України № 81981.

2 «Спосіб швидкодіючого максимального струмового захисту електричних кіл», Патент України № 73195.

3 Венцель Е.С. «Теория вероятности и её инженерные приложения», М., Академия, 2003, 455с.

МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ МІСЦЕВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ 0,4 КВ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ТЕХНІКИ У РОЗЧЕПЛЮВАЧАХ ВИМИКАЧІВ

А.Г.Сосков, О.С. Кобозєв

Запропонована модернізація системи захисту повітряних і кабельних мереж міських електричних мереж 0,4 кВ за рахунок використання нових захистів, що реалізуються за допомогою мікропроцесорних розчеплювачів вимикачів. Розглянуті основні технічні і технологічні особливості функціонування мікропроцесорних розчеплювачів під час реалізації нових захистів.

THE MODERNIZATION OF THE SYSTEM OF PROTECTION OF THE CITY ELECTRIC NETWORKS 0,4 KV THROUGH THE USE OF MICROPROCESSOR TECHNOLOGY IN TRIPS BREAKERS

A.G.Soskov, A.S. Kobozev

Modernization of the system of protection of the city electric networks 0.4 kV air and cable lines has been offered through the use of new protection, by means of microprocessor trips of the breakers.